

# Volumenstrommessungen

---

eine praxisbezogene Einführung  
und ein Lösungskonzept mittels  
Messturbine und Frequenzteiler für den Prüfstand P5



# Volumenmessung

---

**Bestimmung des Volumens für:**

- **Flüssigkeiten**

- a) Messturbine – induktives Verfahren (Impuls pro Flügelradumdrehung)
- b) Wirkdruckverfahren – Verwendung von Blenden, Düsen und Venturirohr ( $\Delta p$ -Verfahren)
- c) Ultraschallmessung

- **Gase**

- a) Messturbine - induktives Verfahren (Impuls pro Flügelradumdrehung)
- b) Ultraschallmessung (Reinheitsgrad und Temperatur wichtig)



# Ultraschall

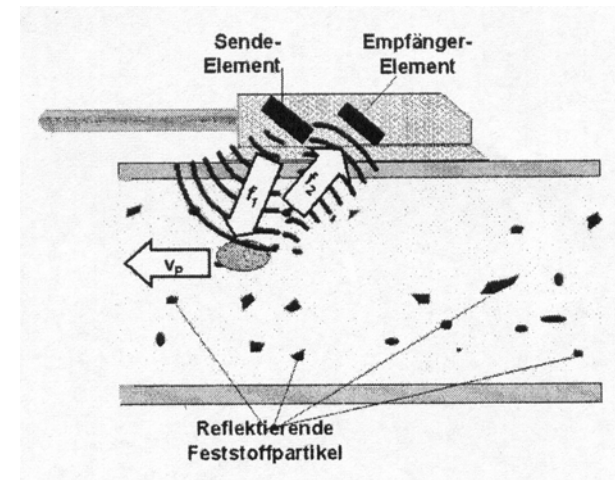
---

- Der thermische Zustand eines Gases wird durch die Zustandsgrößen (p,T,V) vollständig beschrieben.
- Während der Druck auch bei schnellen Gaszustandsänderungen problemlos gemessen werden kann, sind direkte Temperaturmessmethoden durch ihre unzulässige hohe Trägheit ungeeignet.
- Der Messfühler selbst stellt außerdem eine Störung im Temperaturfeld von strömenden Gasen dar. Daher ist zur Messung eine ausschließlich von der Temperatur abhängige Eigenschaft des Mediums wünschenswert.
- Bei isentropen [ $\kappa = f(T)$ ] Änderungen des Druckes mit der Dichte  $\rho$  gilt – für ideale Gase:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\kappa R T}$$

# Ultraschall Messprinzipien - das Doppler Prinzip

- Reflektion der Welle an Grenzschichten (aber auch reflektierenden Partikeln, wie Gasbläschen oder Festkörpern) in einer Flüssigkeit bzw. im Gas.
- Die Frequenz der reflektierten Welle verschiebt sich proportional zur Bewegungsgeschwindigkeit der Reflektoren. Doppler-Effekt!
- Die Frequenzdifferenz ist das Maß für Strömungsgeschwindigkeit!



$f_1$  = Sendefrequenz

$f_2$  = empfangene Frequenz

$v$  = Geschwindigkeit des Reflektors

$\alpha$  = Einstrahlwinkel

$c$  = Schallgeschwindigkeit im Medium

$$f_2 - f_1 = \Delta f = \frac{2 * v * f_1 * \cos \alpha}{c}$$

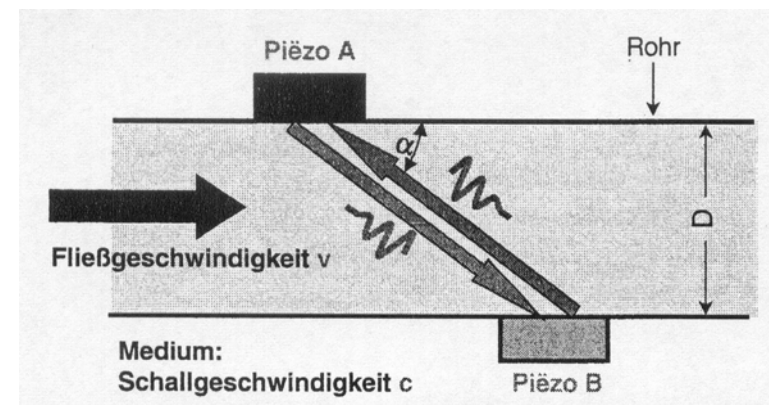
# Ultraschall Messprinzipien

- das Laufzeitdifferenz Prinzip eignet sich zur Durchflussmessung, weniger zur Temperaturbestimmung

Die Laufzeit von Ultraschallimpulsen mit und gegen die Strömung zwischen zwei ortsfesten Beobachtern ist abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit.

Auswertung der Laufzeitdifferenz.

$$\Delta t = v * \frac{t_{\text{Vorlauf}} * t_{\text{Rücklauf}} * \sin 2\alpha}{D}$$



# Volumenmessung mittels Wirkdruckverfahren

Messung des Volumenstroms mittels Differenzdruckverfahren an Blenden, Düsen bzw. Venturirohr

$$q = K * \sqrt{\Delta p}$$

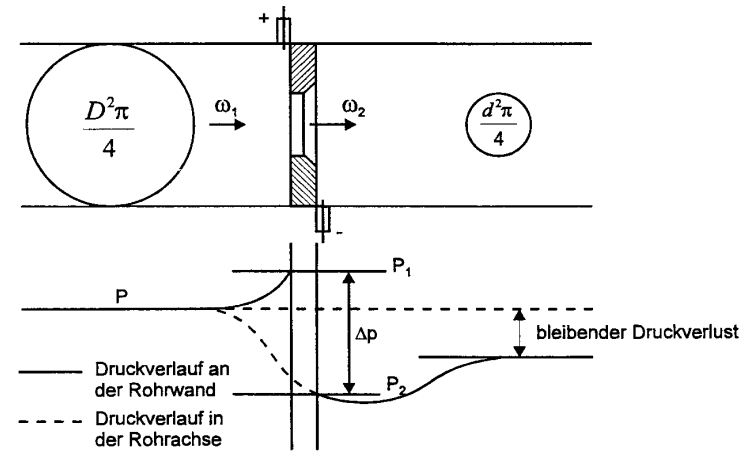
*In einer geschlossenen Rohrleitung ist der Durchfluss in unterschiedlichen Querschnitten gleich :*

$$q_m = A_{Rohr} * \rho_{Fluid} * v_{Fluid}$$

$$q_m = A_{Drossel} * \rho_{Fluid}^* * v_{Fluid}^*$$

$$q_V = A_{Rohr} * v_{Fluid}$$

$$q_V = A_{Drossel} * v_{Fluid}^*$$



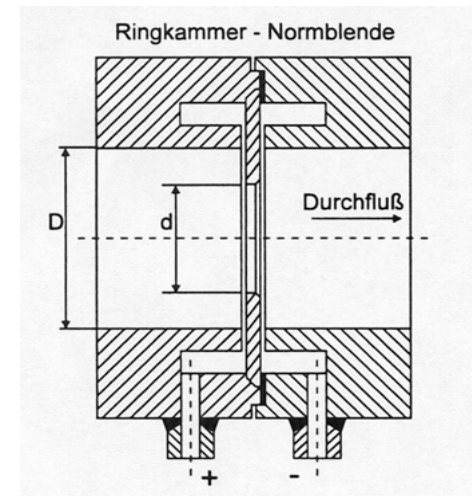
# Volumenmessung mittels Wirkdruckverfahren

## Messung des Volumenstroms mittels Blende

Das Verfahren beruht auf der Tatsache, dass durch eine Querschnittsänderung ein Druckunterschied entsteht. Dieser Differenzdruck (Wirkdruck) ist das Maß für den Durchfluss.

Voraussetzungen für die Anwendung des Wirkdruckverfahren:

- Fluid ohne Gaseinschlüsse, bzw. Gas ohne Tröpfchen
- Der Rohrquerschnitt muss voll ausgefüllt sein.
- stationäre Strömung – keine Pulsation des Mediums
- definiertes Strömungsprofil

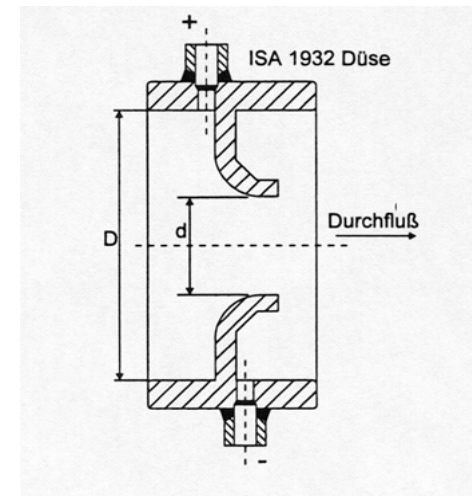


# Volumenmessung mittels Wirkdruckverfahren

## Messung des Volumenstroms mittels Blende

Vorteile des Wirkdruckverfahrens:

- keine beweglichen Teile im Gas bzw. Fluid – daher einfacher Aufbau
- geeignet für extreme Bedingungen, wie Hochdruck bzw. Hochtemperatur
- Verschleißfreiheit
- hohe Lebensdauer
- keine mechanische Blockade des Rohrsystems, bei Ausfall eines Elements
- Bei Verwendung von Normblenden, ist eine Kalibration nicht mehr zwingend.





# Volumenmessung mittels Wirkdruckverfahren

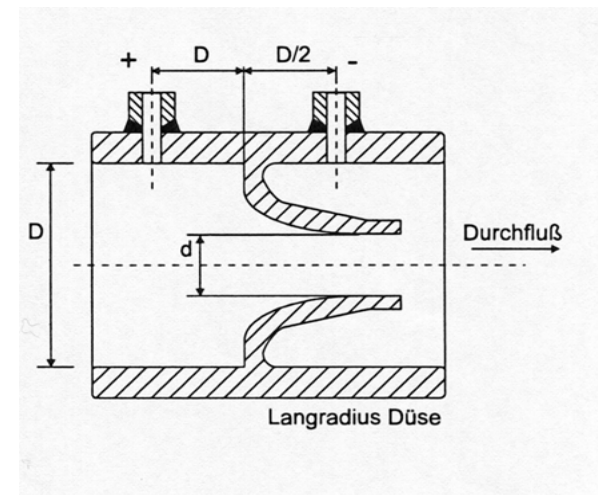
## Messung des Volumenstroms mittels Düse

Nachteile des Wirkdruckverfahrens:

- Druckverlust – Energieverlust
- Ein- und Auslaufstrecken müssen eingeplant werden
- Messbereich oft durch die Konstruktion selbst eingeschränkt

## Alternativen zum Wirkdruckverfahren:

- Messturbinen
- Wirbelzähler
- Ultraschallverfahren
- Massemesser



# Volumenmessung mittels Wirkdruckverfahren

## Messung des Volumenstroms mittels Düse

### Annahmen:

waagerechter Einbau

Fluid – inkompressibles Medium

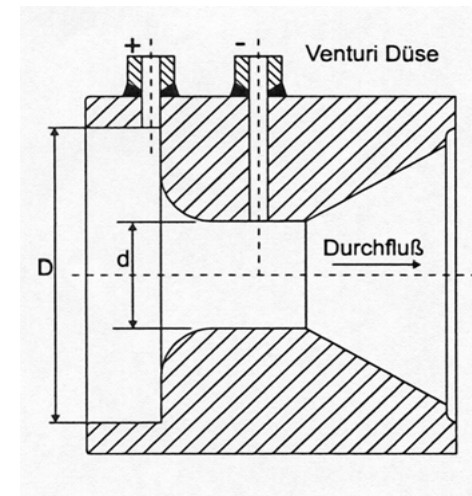
konstante Dichte

Strömung stationär

Öffnungsverhältnis  $m = A_d/A_D$

$$q_V = A_{Drossel} * \sqrt{\frac{2 * \Delta p}{\rho * (1 - m^2)}}$$

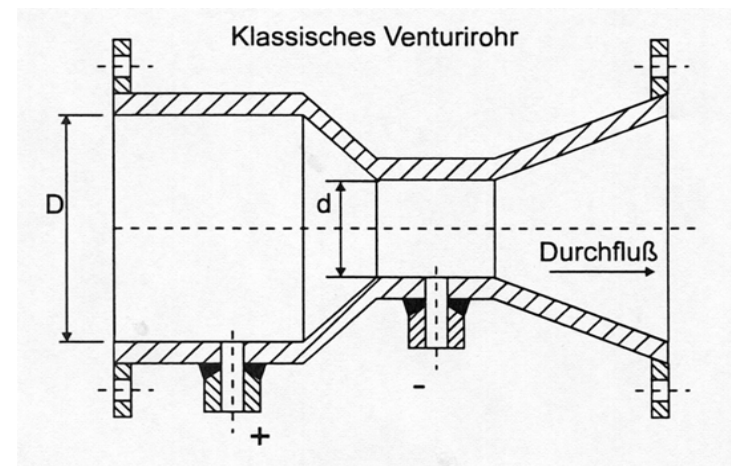
$$q_m = A_{Drossel} * \sqrt{\frac{2 * \rho * \Delta p}{(1 - m^2)}}$$



# Volumenmessung mittels Wirkdruckverfahren

## Messung des Volumenstroms mittels Venturirohr

Da es in der Realität kaum reibungsfreie Strömungen gibt, und die konstante Geschwindigkeit über den gesamten Querschnitt eine Idealisierung darstellt, müssen praxisnahe Formeln (empirischer Beiwert  $\alpha$ ) angewendet werden. Der empirische Beiwert berücksichtigt auch die Art des Drosselgerätes.



$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 - m^2}}$$

$$q_m = \alpha * A_{Drossel} * \sqrt{2 * \rho * \Delta p}$$

$$q_m = \alpha * d^2 * \frac{\pi}{4} * \sqrt{2 * \rho * \Delta p}$$



# Fehlerquellen beim Einbau von Drosselgeräten

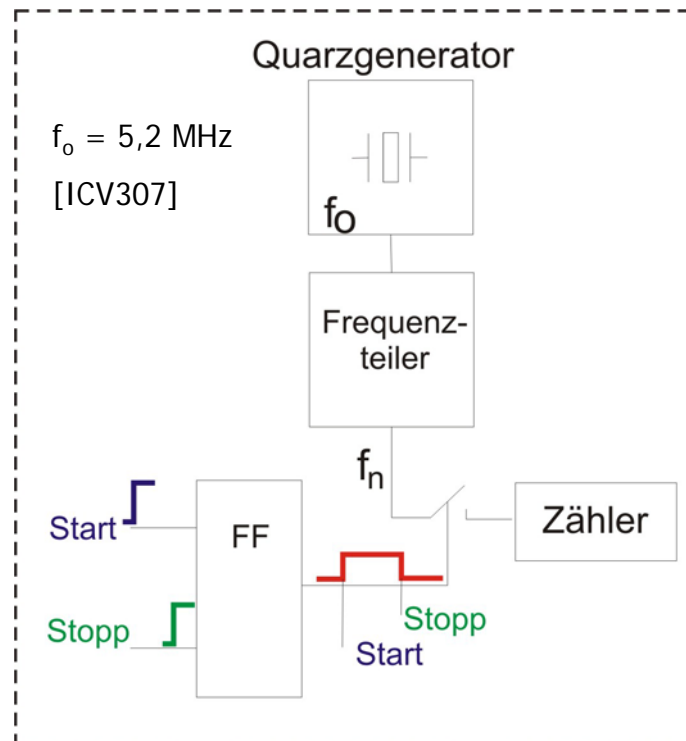
---

Der Vorteil der Wirkdruckelemente ist deren Robustheit. Bei falscher Auslegung können jedoch gravierende Fehlmessungen erfolgen, die zunächst nicht auffallen.

***folgende Kriterien sind zu beachten:***

- Einläufe und Ausläufe richtig dimensionieren – Mindestlängen beachten oder Strömungsgleichrichter verwenden
- Schwingungen und Pulsationen in den Rohrleitungen vermeiden
- verschmutzte bzw. zweiphasige Medien vermeiden
- auf ausreichend hohen Wirkdruck achten (Kompromiss zum Energieverlust)
- abrupte Durchmesseränderungen vermeiden
- Rohre auf schlechte Rohrrauigkeit untersuchen
- horizontale Rohrführung bevorzugen
- Vermeidung von verdrehtem Einbau von Blenden

# Messprinzip mittels Messturbine



# Vorverstärker der Firma Küppers





# Messturbine QHP am P5



# Messturbine QHP am P5

## Versuch M229-07 [22.12.2009]

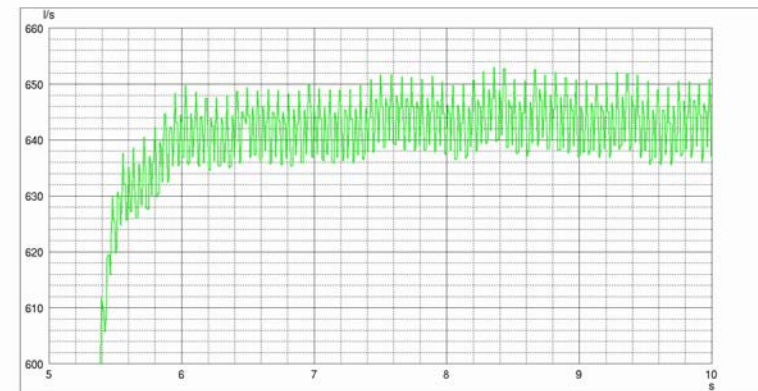
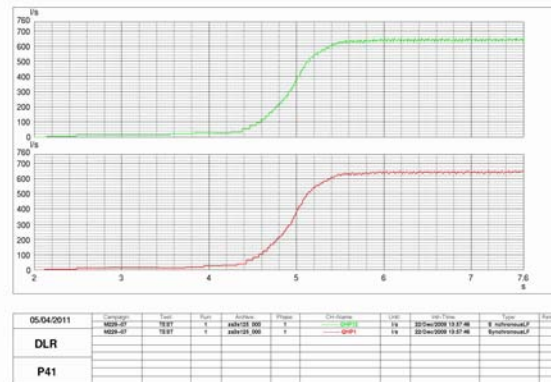
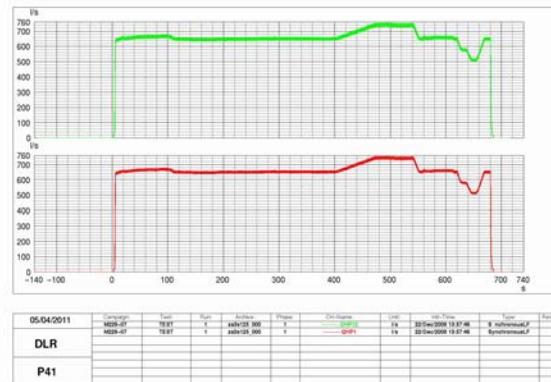


05/04/2011	Campaign	Test	Run	Archive	Phase	CH-Name	Unit	Init-Time	Type	Remark
DLR	M229-07	TEST	1	path125_000	1	Grp125	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchrenau.F	
	M229-07	TEST	1	path125_000	1	Grp1	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	Synchronous.F	
P41										



# Messturbine QHP1 am P5

## Versuchsauswertung M229-07



05/04/2011	Campaign	Test	Run	Archive	Phase	CH-Name	Unit	Init-Time	Type	Remark
	M229-07	TEST	1	akhs125.000	1	p41	1/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nottransuall	
	DLR									
	P41									

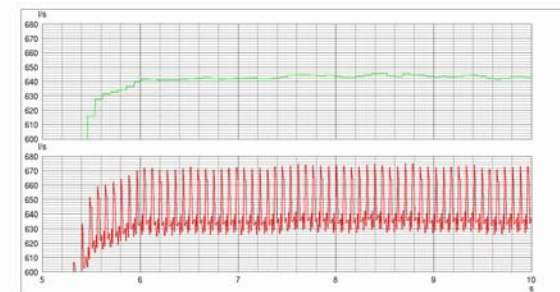
# Versuchsauswertung – QHP3 mit Teiler

# Versuchsauswertung – QHP32 original

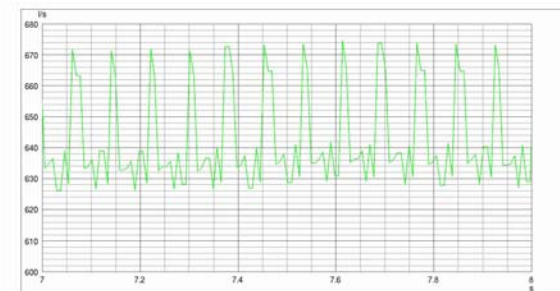
# Konfiguration



05/04/2011	Campaign	Test	Run	Active	Phase	CH-Name	Unit	Inst-Time	Type	Remark
DLR	M229-07	TEST	1	akt	1	QHP3	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchtronusuLF	
	M229-07	TEST	1	akt	1	QHP32	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchtronusuLF	
P41										



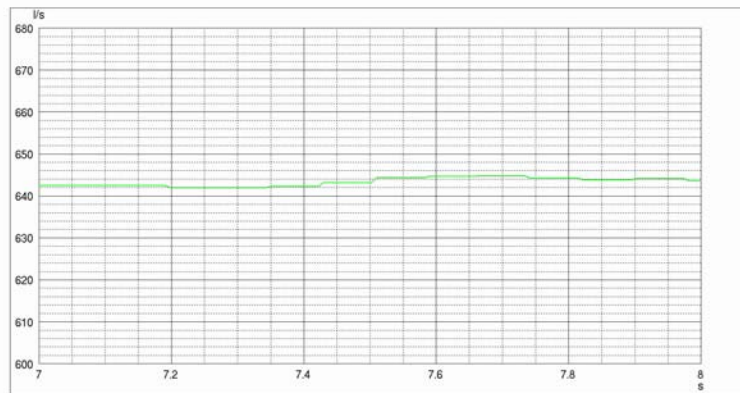
05/04/2011	Campaign	Test	Run	Active	Phase	CH-Name	Unit	Inst-Time	Type	Remark
DLR	M229-07	TEST	1	akt	1	QHP3	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchtronusuLF	
	M229-07	TEST	1	akt	1	QHP32	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchtronusuLF	
P41										



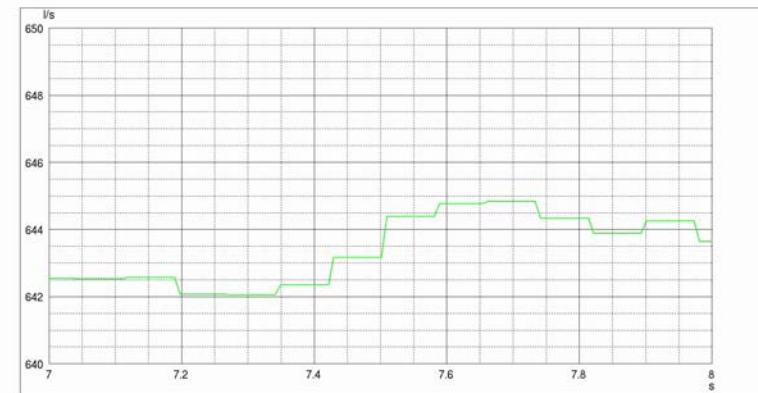
05/04/2011	Campaign	Test	Run	Active	Phase	CH-Name	Unit	Inst-Time	Type	Remark
DLR	M229-07	TEST	1	akt	1	QHP3	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchtronusuLF	
	M229-07	TEST	1	akt	1	QHP32	I/s	22-Dec-2009 13:57:46	S. nchtronusuLF	
P41										

# Versuchsauswertung – QHP3

## Signalstabilisierung durch die eingesetzte Teilerfunktion



05/04/2011	Campaign	TEST	Run	Active	Phase	CH-Name	Unit	Init-Time	Type	Remark
	M29-07	TEST	1	akt121.000	1	QHP3	I/s	22-Dec-2009 13:57:48	S. nichtreduziert	
DLR										
P41										



05/04/2011	Campaign	TEST	Run	Active	Phase	CH-Name	Unit	Init-Time	Type	Remark
	M29-07	TEST	1	akt121.000	1	QHP3	I/s	22-Dec-2009 13:57:48	S. nichtreduziert	
DLR										
P41										